

УДК 691.11:620.179.16

**М.Ф. Лавров, А.Е. Местников**

(Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Амосова,  
г. Якутск, Республика Саха, РФ), mishalis@inbox.ru;

**Ю.Б. Левинский**

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ  
В ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЯХ МЕТОДАМИ ИМПУЛЬСНОЙ ТОМОГРАФИИ  
И ОРИЕНТИРОВАННОГО СВЕРЛЕНИЯ**

**RESEARCHING OF THE DENSITY DISTRIBUTION IN THE TRANSVERSE  
SECTIONS BY MICRODRILLING AND ULTRASONIC METHODS**

*В статье представлены методы и результаты исследования качественных показателей древесины, полученные в лабораторных и полевых условиях, а также разработанные автором способы графического отображения распределения плотности в поперечных и продольных сечениях ствола дерева по результатам замеров методом ориентированного сверления.*

*Предложенные способы построения графиков распределения плотности позволяют оценивать показатели плотности в круглых сортиментах заготовок, что позволяет использовать их в качестве теоретической основы создания специального программного обеспечения для приборов, работающих по принципу ориентированного сверления. Разработанная методика оценки качественных показателей лесных ресурсов способствует расширению границ использования древесных материалов, снижению их себестоимости, а также повышению качества строительных деревянных конструкций и сооружений.*

*The article presents the methods and results of research larchwood, and mapping of the density distribution in the transverse and axial sections of a tree trunk by microdrilling methods. The proposed methods for charting the distribution of the density of a measurement in trunk that allows them to be used as a theoretical basis for special software the microdrilling. The developed quantitative evaluation methods of forest resources contributed to the expansion of the use of wood materials, reduce cost, and improve the quality of construction of wooden structures and constructions.*

Комплексные исследования ведущих ученых по проблемам древесиноведения позволили установить, что по мере продвижения с запада на восток влажность древесины лиственницы уменьшается, а прочностные свойства возрастают [1–3]. В то же время плотность древесины в абсолютно сухом состоянии в зависимости от района произрастания существенно не различается [1–6]. Таким образом, условия произрастания древесных пород оказывают определенное влияние на физико-механические свойства древесины.

Во всех случаях отмечено, что в абсолютно сухом состоянии плотность древесины в комлевой части обладает наибольшими показателями и значительно снижается к середине высоты ствола. В некоторых случаях можно наблюдать небольшое повышение плотности древесины в районе кроны [1, 7]. Характер распределения показателей плотности древесины в различных участках ствола деревьев объясняется неравномерным отложением годовичных слоев и различным соотношением ранней и поздней древесины. Наибольшая плотность древесины в абсолютно сухом состоянии отмечается в комлевой части ствола, которая обусловлена еще и тем, что эта часть ствола, выполняя

функцию опоры дерева, несет большую механическую нагрузку. Повышение плотности этих участков ствола связано с увеличением толщины стенок клеток и большим содержанием смол и других экстрактивных веществ [7–10].

В пределах каждого дерева любой породы древесины плотность весьма неоднородна по своей величине и зоне ствола (рис. 1) [1, 7]. Это, безусловно, создает серьезные, а в ряде случаев и непреодолимые трудности в подборе древесины с однородными свойствами для ответственных изделий и конструкций.

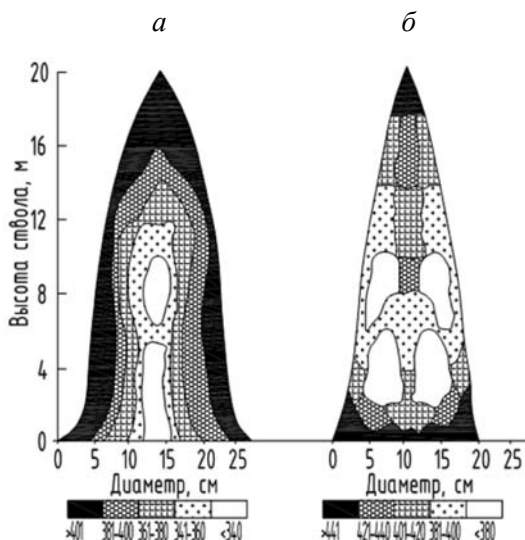


Рис. 1. Денситограмма ствола ели (а) и осины (б)

Возрастающие требования к рациональному использованию древесины предполагают проведение высокоточной и обширной диагностики строения, состояния и качества древесины, что позволяет получить достоверные данные о состоянии древесины, ее анатомическом строении и основные физико-механические показатели. В связи с актуальностью проблемы оперативного диагностирования качества древесины целью данной работы является повышение эффективности определения плотности древесины современными неразрушающими методами.

К неразрушающим акустическим методам можно отнести: ультразвуковой импульсный, фазовый, резонансный, ударный. Ультразвуковой импульсный метод основан на использовании механических колебаний высокой частоты. Характерной особенностью ультразвукового импульсного метода является возбуждение высокочастотных колебаний малой амплитуды в ограниченном объеме материала. При этом материал не меняет своей формы, лишь изменяет скорость прохождения импульса в некоторой локальной зоне по линии прозвучивания.

Сверильный метод позволяет оценить прочность древесины на произвольной глубине путем регистрации количества работы сверления в последовательно просверливаемых слоях исследуемых деревьев, телеграфных столбов, шпал, мостовых брусьев и т.п.

#### *Материалы и методы исследований древесины*

Для исследования качественных показателей древесины лиственницы даурской были отобраны модельные деревья в количестве 9 шт., а также один экспериментальный ствол с явно выраженными пороками строения (наклоном волокон, кривизной, сбежистостью и т.д.). Отбор модельных деревьев осуществлялся по ГОСТу 16483.6–80 в лимново-брусничном лесу на 25 километре федеральной автомобильной дороги «Вилуй». Согласно ГОСТу 16483.6–80 модельные деревья исследуемой породы выбраны из числа деревьев, величина диаметров которых удовлетворяет требованиям, предъявляемым к лесоматериалам в зависимости от их назначения.

Для проведения ультразвуковых импульсных испытаний использовано оборудование по определению внутренней структуры древесины – импульсный томограф «АРБОТОМ®» (производство RINNTECH, Германия).

В каждом сенсоре томографа «АРБОТОМ» имеется виброметр и электронная схема для определения реального времени прохождения поступающих импульсов. Скорость ультразвука рассчитывается временем прохождения импульсов между сенсорами (рис. 2).

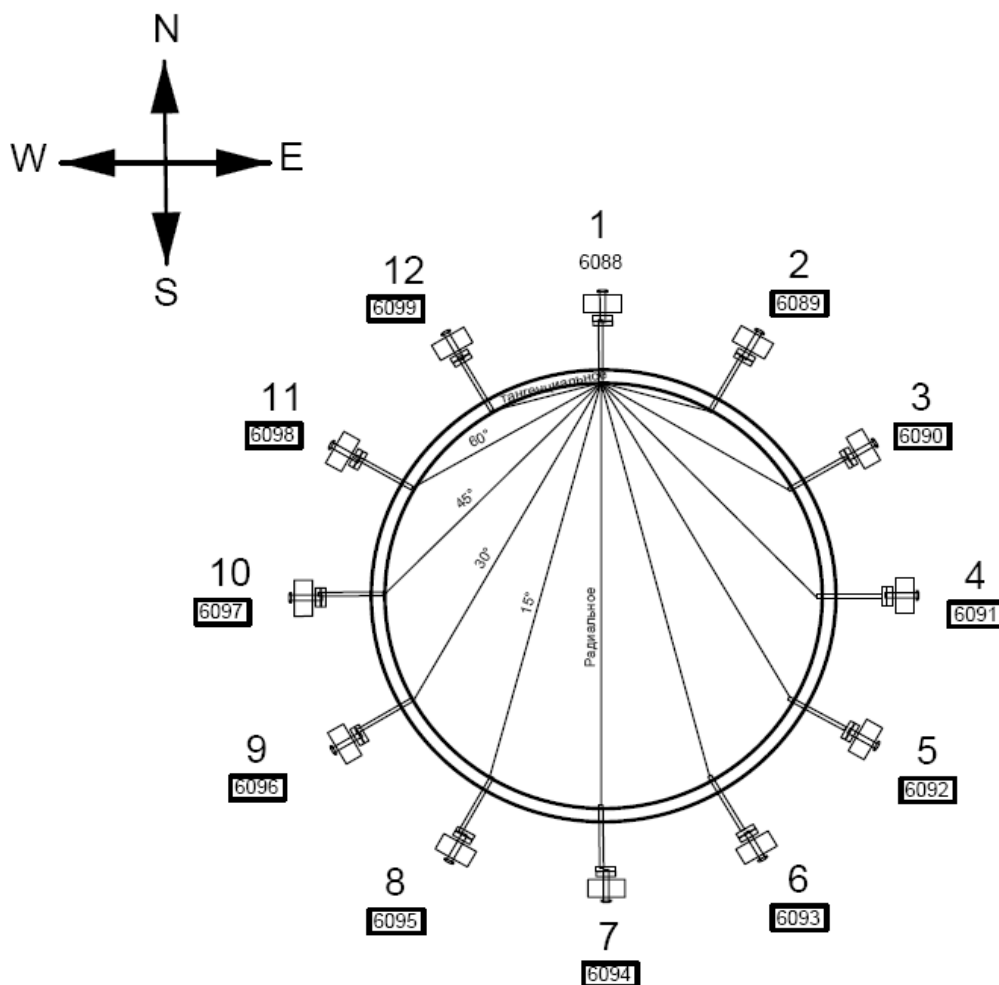


Рис. 2. Схема прохождения импульсов между сенсорами

Скорости прохождения импульсов собираются в матрицу и представляются в виде линейных или плоскостных графических построений.

Исследование качественных показателей древесины лиственницы даурской с использованием метода ориентированного сверления проводилось по следующей программе [11–13]:

- установление последовательности проведения испытаний и анализа данных по оценке качества древесины;
- установление характерных зон замера;
- определение внутренней структуры древесины с разметкой границ ранней и поздней древесины;
- приведение замеряемых значений  $res_i$  к истинным значениям показателей;
- установление связи базисной плотности древесины с условными единицами  $res_i$ .

При взаимно перпендикулярном совмещении графиков распределения базисной плотности (в направлении север-юг и запад-восток) по диаметру ствола относительно ориентации пути сверления можно получить поверхностные диаграммы распределения базисной плотности в программе MS Excel.

Для составления поверхностной диаграммы поперечных сечений приняты следующие допущения:

1. Поперечное сечение ствола имеет форму круга.
2. Центр окружности совпадает с осью поперечного сечения ствола.
3. Характер изменения плотности годовичного кольца по окружности ствола является равномерным.

На рисунке 3 представлена таблица, моделирующая форму сечения ствола с разделением участков в 1 см. Указаны направления света, которые идентифицируют направления просверливания.

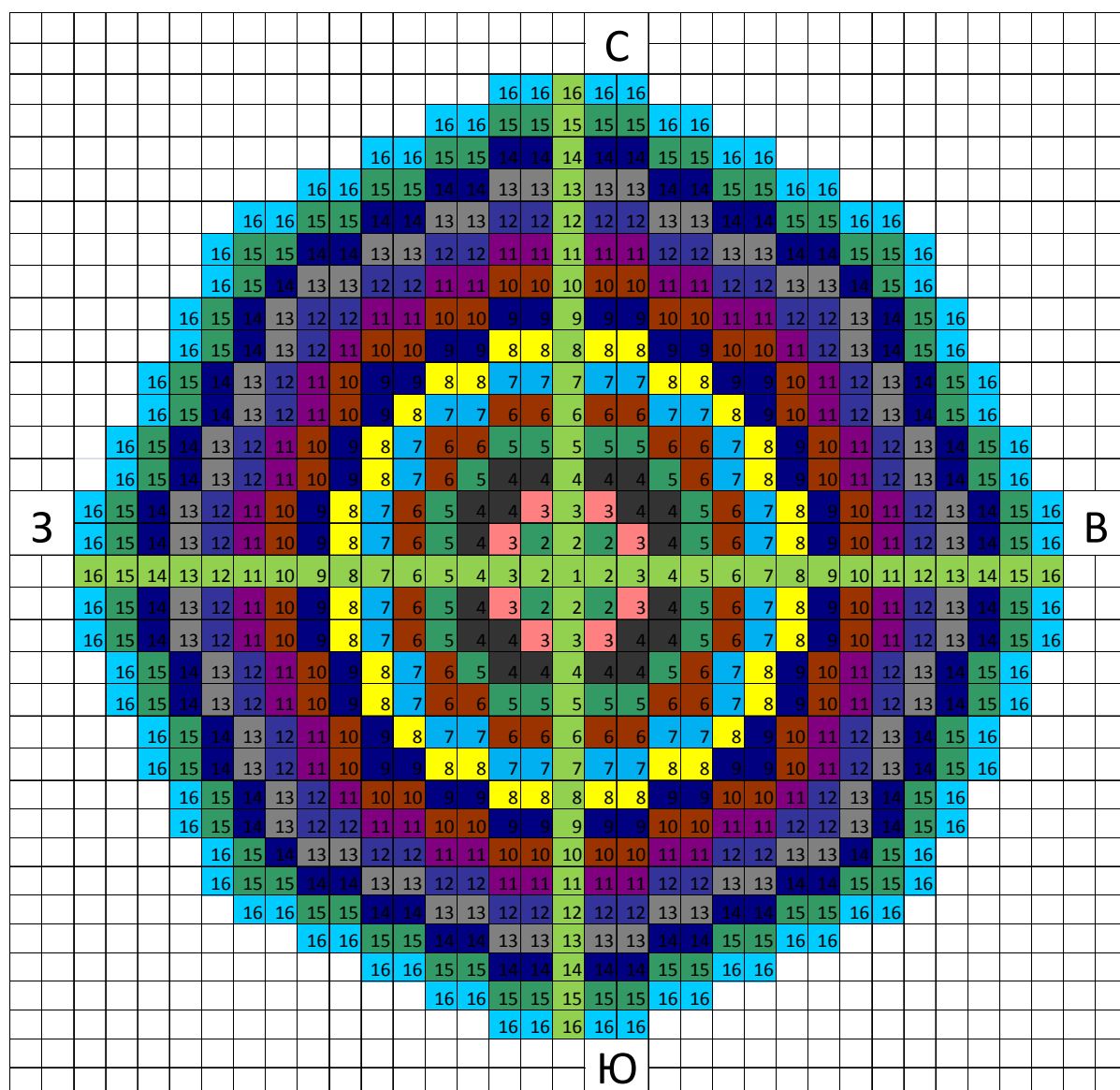


Рис. 3. Таблица данных распределения плотности в поперечном сечении ствола

Пример заполнения таблицы северо-восточной части ствола представлен на рисунке 4.

N16	NE16-20	NE16-19													
N15	NE15-19	NE15-18	NE16-18	NE16-17											
N14	NE14-17	NE14-16	NE15-17	NE15-16	NE16-16	NE16-15									
N13	NE13-16	NE13-15	NE14-15	NE14-14	NE15-15	NE15-14	NE16-14	NE16-13							
N12	NE12-15	NE12-14	NE13-14	NE13-13	NE14-13	NE14-12	NE15-13	NE15-12	NE16-12	NE16-11					
N11	NE11-13	NE11-12	NE12-13	NE12-12	NE13-12	NE13-11	NE14-11	NE14-10	NE15-11	NE15-10	NE16-10				
N10	NE10-12	NE10-11	NE11-11	NE11-10	NE12-11	NE12-10	NE13-10	NE13-9	NE14-9	NE15-9	NE16-9				
N9	NE9-11	NE9-10	NE10-10	NE10-9	NE11-9	NE11-8	NE12-9	NE12-8	NE13-8	NE14-8	NE15-8	NE16-8			
N8	NE8-9	NE8-8	NE9-9	NE9-8	NE10-8	NE10-7	NE11-7	NE12-7	NE13-7	NE14-7	NE15-7	NE16-7			
N7	NE7-8	NE7-7	NE8-7	NE8-6	NE9-7	NE9-6	NE10-6	NE11-6	NE12-6	NE13-6	NE14-6	NE15-6	NE16-6		
N6	NE6-7	NE6-6	NE7-6	NE7-5	NE8-5	NE9-5	NE10-5	NE11-5	NE12-5	NE13-5	NE14-5	NE15-5	NE16-5		
N5	NE5-5	NE5-4	NE6-5	NE6-4	NE7-4	NE8-4	NE9-4	NE10-4	NE11-4	NE12-4	NE13-4	NE14-4	NE15-4	NE16-4	
N4	NE4-5	NE3-4	NE5-3	NE6-3	NE7-3	NE8-3	NE9-3	NE10-3	NE11-3	NE12-3	NE13-3	NE14-3	NE15-3	NE16-3	
N3	NE3-2	NE3-3	NE4-2	NE5-2	NE6-2	NE7-2	NE8-2	NE9-2	NE10-2	NE11-2	NE12-2	NE13-2	NE14-2	NE15-2	NE16-2
N2	NE2-1	NE3-1	NE4-1	NE5-1	NE6-1	NE7-1	NE8-1	NE9-1	NE10-1	NE11-1	NE12-1	NE13-1	NE14-1	NE15-1	NE16-1
C	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16

Рис. 4. Форма табличного заполнения данных

На рисунке 4 показаны идентификационные номера, где в ячейках главных осей ( $N_i$ ,  $E_i$ ) записываются экспериментальные данные средних значений плотности (на участке длиной в 1 см), а в ячейках ( $NE_{i,k}$ ) – расчетные данные распределения плотности, которые определяются по формуле:

$$NE_{i,k} = E_i - \frac{k}{n+1}(E_i - N_i),$$

где  $NE_{i,k}$  – расчетные данные распределения плотности;

$E_i$  – значение средней плотности ( $\text{кг/м}^3$ ) в восточной части на  $i$ -м расстоянии (см) от центральной оси;

$k$  – номер ячейки на  $i$ -м расстоянии (см) от центральной оси;

$n$  – количество ячеек на  $i$ -м расстоянии (см) от центральной оси;

$N_i$  – значение средней плотности северной части на  $i$ -м расстоянии (см) от центральной оси.

Пример расчета данных в ячейке NE12-9:

значение  $N_{12} = 588 \text{ кг/м}^3$ ;  $E_{12} = 689 \text{ кг/м}^3$ ;  $k = 9$ ;  $n = 15$ ;

$NE_{12-9} = 689 - 9/16 (689 - 588) = 632 (\text{кг/м}^3)$ .

#### Результаты исследования

Полученные данные скорости прохождения импульсов были распределены в зависимости от угла прохождения импульсов относительно годовичных слоев. Для определения зависимости скорости прохождения импульсов от угла, высоты снятия замера измерены расстояния между датчиками. В таблице 1 представлены значения углов прохождения импульсов между датчиками относительно поперечного сечения ствола.

Значение углов прохождения импульсов между датчиками  
по отношению к поперечному сечению ствола

№ датчиков	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	х	Танг.	60	45	30	15	Рад	15	30	45	60	Танг.
2	Танг.	х	Танг.	60	45	30	15	Рад	15	30	45	60
3	60	Танг.	х	Танг.	60	45	30	15	Рад	15	30	45
4	45	60	Танг.	х	Танг.	60	45	30	15	Рад	15	30
5	30	45	60	Танг.	х	Танг.	60	45	30	15	Рад	15
6	15	30	45	60	Танг.	х	Танг.	60	45	30	15	Рад
7	Рад	15	30	45	60	Танг.	х	Танг.	60	45	30	15
8	15	Рад	15	30	45	60	Танг.	х	Танг.	60	45	30
9	30	15	Рад	15	30	45	60	Танг.	х	Танг.	60	45
10	45	30	15	Рад	15	30	45	60	Танг.	х	Танг.	60
11	60	45	30	15	Рад	15	30	45	60	Танг.	х	Танг.
12	Танг.	60	45	30	15	Рад	15	30	45	60	Танг.	х

В процессе исследований было обнаружено, что древесина лиственницы обладает значительным разбросом скорости звуковых импульсов. Так, скорость распространения импульсов в испытуемых модельных деревьях колеблется в пределах от 840 до 2246 м/сек. Усредненные значения замеров показаны на рисунке 5.

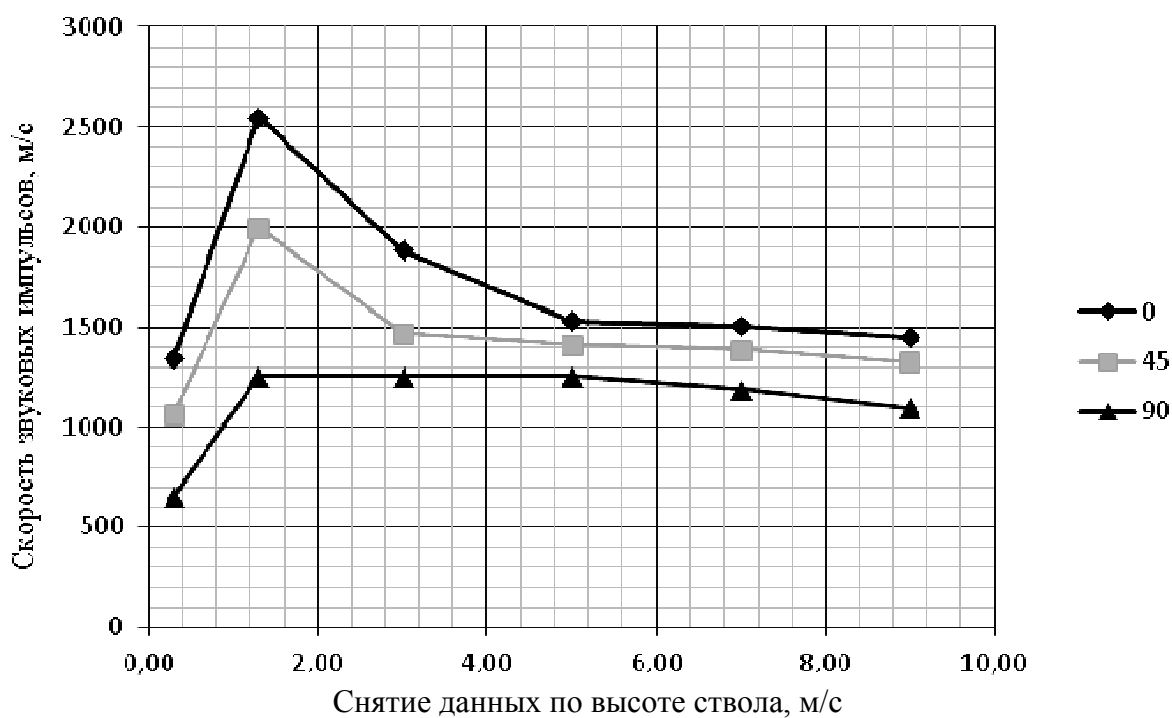


Рис. 5. График изменения скорости прохождения звуковых импульсов по высоте ствола дерева и угла прохождения в поперечном сечении ствола

В ходе экспериментальных исследований проведен сравнительный анализ плоскостных графиков распределения плотности с графиками распределения скорости звуковых импульсов, полученных с помощью звукового томографа «АРБОТОМ», (фирмы RINNTECH, Германия) [12, 14, 15]. Результаты представлены на рисунке 6.

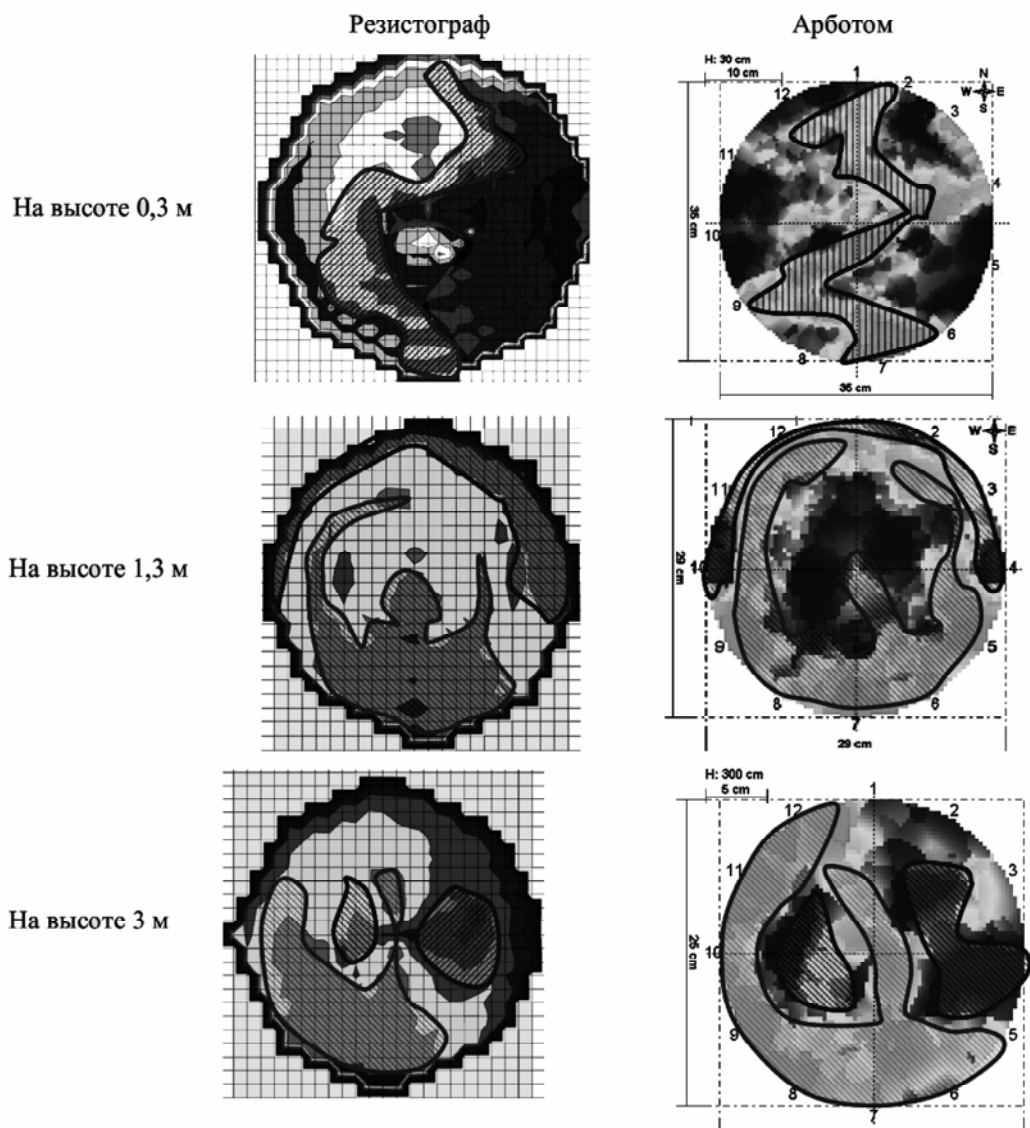


Рис. 6. Сравнение распределения плотности в поперечном сечении ствола

Из рисунка 6 видно, что графики имеют общие тенденции распределения плотности по сечению ствола. Для повышения точности представления графиков распределения плотности требуются дополнительные точки просверливания в промежуточных направлениях:

- с северо-запада на юго-восток;
- с северо-востока на юго-запад.

#### *Заключение*

По результатам экспериментальных исследований сделаны следующие выводы:

- скорость прохождения звука зависит от угла прохождения звукового импульса относительно поперечного сечения ствола, в связи с чем можно предположить устойчивую корреляционную связь скорости звукового импульса и модуля упругости древесины;
- импульсная томография может быть применена в оценке качества растущего древесного сырья, однако необходимы дальнейшие исследования по определению корреляционных показателей связи модуля упругости древесины хвойных пород и скоростью прохождения звукового импульса (с учетом угла прохождения импульсов относительно поперечного сечения ствола).

Современные способы оценки качества древесины методами звуковой томографии и сверления имеют неоспоримые преимущества по сравнению со многими другими, в том числе и с теми, которые достаточно широко распространены в производственной практике. Они позволяют визуально и количественно оценивать данные, полученные этими способами, и делать выводы о состоянии древесины.

В отношении определения механических свойств древесины и методик оценки качества древесины звуковым методом исследований в современной науке требуются дополнительные исследования и изыскания.

Разработанная методика составления карт распределения плотности в поперечных и продольных сечениях ствола дерева позволит внедрить метод ориентированного сверления в повсеместную практику при оценке как качественных показателей древесины в лесных массивах, так и элементов деревянных конструкций на эксплуатируемых объектах.

С помощью метода ориентированного сверления можно исследовать макроструктуру древесины и биосостояние ствола дерева, практически не нарушая его целостности, а также определять плотность и механические свойства древесины. Определение указанных характеристик лиственницы даурской представляется достаточно согласованным с научными принципами исследования древесины и описания ее свойств. Соотношения между параметрами макростроения древесины, ее плотности и прочности могут быть установлены на основе идентификации характеристик процесса внедрения сверла-индентора в древесину и величины ее сопротивления продвижению инструмента по образующемуся каналу. Поэтому разработка математической модели процесса сверления и создание специальных карт распределения плотности по сечению и высоте ствола дерева могут обеспечить достоверное и обоснованное прогнозирование технических показателей и качества самой древесины.

### Библиографический список

1. Алексеев И.А. Лесное товароведение с основами древесиноведения: учеб. пособие / И.А. Алексеев, О.И. Полубояринов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 457 с.
2. Бокщанин Ю.Р. Пути расширения переработки и потребления лиственницы / Ю.Р. Бокщанин. – Свердловск: Изд. Сверд. НТО бумлесдрев, 1962. – 98 с.
3. Исаева Л.Н. Физико-механические свойства древесины основных пород Сибири / Л.Н. Исаева. – Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР, 1975. – 310 с.
4. Вихров В.Е. Технические свойства древесины в связи с типами леса / В.Е. Вихров, А.К. Лобасенок. – Минск: Изд-во Министерства высшего, среднего специального и профессионального образования, 1963. – 72 с.
5. Жуков А.Б. Технические свойства древесины сосны из лесов Украины / А.Б. Жуков. – Харьков, 1931. – 80 с.
6. Львов П.Н. О качестве древесины ели и лиственницы Крайнего Северо-Востока Коми АССР / П.Н. Львов, Р.Н. Климов // ИВУЗ. Лесной журнал. – 1971. – № 4. – С. 124–125.
7. Полубояринов О.И. Плотность древесины / Ю.И. Полубояринов. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 160 с.
8. Вихров В.Е. Строение и физико-механические свойства ранней и поздней древесины сибирской лиственницы / В.Е. Вихров // Тр. ин-та леса АН СССР. – 1949. – Т. 4. – С. 174–194.
9. Санаев В.Г. Физико-механические свойства элементов макроструктуры древесины / В.Г. Санаев // Строение, свойства и качество древесины. – М., 1990. – С. 171–176.
10. Вихров В.Е. Изменение крепости древесины в зависимости от процента поздней части годичного слоя и влажности / В.Е. Вихров // Тр. Арханг. лесотехн. ин-та. – Арханг., 1949. – Т. 13. – С. 175–178.



11. Волынский В.Н. Плотность и модуль упругости как критерии прочности чистой древесины / В.Н. Волынский // ИВУЗ. Лесной журнал. – 1983. – № 4. – С. 76–80.
12. Распределение плотности по высоте и сечению ствола древесины лиственницы даурской / М.Ф. Лавров, Ю.Б. Левинский, Д.К. Чахов, И.А. Докторов, С.А. Семенова // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 8. – С. 41–42.
13. Лавров М.Ф. Определение качественных показателей древесины методом сверления / М.Ф. Лавров, Д.К. Чахов, И.А. Докторов // Вестник Московского государственного университета леса. – Лесной вестник. – 2014. – № 5. – С. 196–201.
14. Лавров М.Ф. Определение акустических показателей древесины лиственницы / М.Ф. Лавров, С.А. Семенова // ЭРЭЛ-2012: мат-лы Всерос. конф. науч. молодежи. – Т. 1. – Якутск, 2012. – С. 92–95.
15. Левинский Ю.Б. Новый методологический подход к исследованию распределения плотности по сечению и высоте ствола в древесине (на примере древесины лиственницы даурской, произрастающей в Якутии) / Ю.Б. Левинский, М.Ф. Лавров, С.А. Семенова // VIII Междунар. евразийск. симпозиум «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI в.». – URL: [http://symposium.forest.ru/article/2013/2\\_tehnology/pdf/Levinskyi2.pdf](http://symposium.forest.ru/article/2013/2_tehnology/pdf/Levinskyi2.pdf) (Дата обращения: 19.02.2015).

УДК 674.8

С.С. Тютиков

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ), tyutikov@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАСТИКОВ ИЗ ТОРФА БЕЗ ДОБАВЛЕНИЯ СВЯЗУЮЩИХ

### RESEARCH MANUFACTORY PLAST FROM PEAT WITHOUT ADDITION GLUE

*Полученные результаты заставляют пересматривать общепринятые представления о торфе. Торф может использоваться как сырье для изготовления пластиков без добавления связующих.*

*The obtained results forces to revise the generally accepted performances about technical value of peat. Peat is can used as raw for manufacturing of plastics without additional glue.*

Россия располагает огромными запасами торфа – около 200 миллиардов тонн в расчете на готовую продукцию. Торф образуется в результате биохимического процесса разложения болотных растений при повышенной влажности и недостатке кислорода. Встречается в виде залежей (торфяников), представляющих напластование одного или нескольких видов торфа. В образовании торфа участвуют мхи, кустарники, травянистые и древесные растения.

Торф классифицируют на типы (верховой, переходный и низинный), подтипы (лесной, лесотопяной и топяной) и группы (древесная, древесно-травянистая, древесно-моховая, травяная, травяно-моховая, моховая). Лесной подтип содержит древесных остатков более 40 %, лесотопяной – 15–35 %, а топяной – менее 15 %. Средние показатели:

- зольности (верховой торф – 2,4 %, переходный – 4,7 %, низинный – 7,6 %);
- кислотности (верховой – 3,3 %, переходный – 4,1 %, низинный – 5,1 %).

По химическому составу торф, как и древесина (здоровая и частично пораженная гнилями), состоит в основном из углеводной части, того или иного количества лигнина и веществ, экстрагируемых спиртобензолом и горячей водой и т.д. Отметим, что